

FOREST BIOGEOCENOLOGY



I. V. Goncharenko  Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.
H. M. Holyk

UDK 581.9

*Institute for Evolutionary Ecology of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Lebedeva str., 37,
03143, Kyiv, Ukraine*

KYIV PARK "NIVKI" AND "TEREMKI" FORESTS AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF THEIR HABITATS

Abstract. Cenotic diversity and leading ecological factors of its floristic differentiation were studied on an example of two areas – Kyiv parks "Nivki" and "Teremki". It is shown that in megalopolis the *Galeobdoloni-Carpinetum impatientosum parviflorae* subassociation is formed under anthropogenic pressure on the typical ecotope of near-Dnieper hornbeam oak forests on fresh gray-forest soils.

The degree of anthropogenic transformation of cenofloras can be estimated by the number of species of *Robinietaea* and *Galio-Urticetea* classes, as well as neophytes and cultivars. Phytoindication for hemeroby index may be also used in calculation.

We propose the modified index of biotic dispersion (normalized by alpha-diversity) for the estimation of ecophytocenotic range (beta-diversity) of releves series.


We found that alpha-diversity initially increases (due to the invasion of antropophytes) at low level of anthropogenic pressure, then it decreases (due to the loss of aboriginal species) secondarily with increasing of human impact. Also we found that beta-diversity (differential diversity) decreases, increasing homogeneity of plant cover, under the influence of anthropogenic factor.

Vegetation classification was completed by a new original method of cluster analysis, designated as DRSA («distance-ranked sorting assembling»). The classification quality is suggested to be validated on the "seriation" diagram, which is a distance matrix between objects with gradient filling. Dark diagonal blocks confirm clusters' density (intracluster compactness), uncolored off-diagonal blocks are evidence in favor of clusters' isolation (intercluster distinctness). In addition, distinction of clusters (syntaxa) in ordination area suggests their independence.

For phytoindication we propose to include only species with more than 10% constancy. Furthermore, for the description of syntaxonomic amplitude we suggest to use 25%-75% interquartile scope instead of mean and standard deviation. It is shown that comparative analysis of syntaxa for each ecofactor is convenient to carry out by using violin (bulb) plots.

A new approach to the phytoindication of syntaxa, designated as R-phytoindication, was proposed for our study. In this case, the ecofactor values, calculated for individual releves, are not taken into account, however, the composition of cenoflora with species constancies is used that helps us to minimize for phytoindication the influence of non-typical species.

We suggested a syntaxon's amplitude to be described by more robust statistics: for the optimum of amplitude (central tendency) – by a median (instead of arithmetic mean), and for the range of tolerance – by an interquartile scope (instead of standard deviation).

 Tel.: +38044-526-20-51. E-mail: 3604749@gmail.com

DOI: 10.15421/031420

ISSN 1726-1112. *Ecology and noospherology*. 2014. Vol. 25, no. 3–4

53

We assess amplitudes of syntaxa by phytoindication method for moisture (Hd), acidity (Rc), soil nitrogen content (Nt), wetting variability (vHd), light regime (Lc), salt regime (Sl). We revealed no significant differences on these ecofactors among ecotopes of our syntaxa, that proved the variant syntaxonomic rank for all syntaxa.

We found that the core of species composition of our phytocenoses consists of plants with moderate requirements for moisture, soil nitrogen, light and salt regime. We prove that the leading factor of syntaxonomic differentiation is hidden anthropogenic, which is not subject to direct measurement. But we detect that hidden factor of "human pressure" was correlated with phytoindication parameters (variables) that can be measured "directly" by species composition of plant communities. The most correlated factors were ecofactors of soil nitrogen, wetting variability, light regime and hemeroby. The last one is the most indicative empirically for the assessment of "human impact". We establish that there is a concept of «hemeroby of phytocenosis» (tolerance to human impact), which can be calculated approximately as the mean or the median of hemeroby scores of individual species which are present in it.

Keywords: forest-park vegetation, Kyiv, syntaxonomy, Fagetalia, cluster analysis, DRSA, phytoindication, violin plots.

УДК 581.9

И. В. Гончаренко канд. биол. наук, доц.
Г. Н. Голик

*Институт эволюционной экологии НАН Украины,
ул. Лебедева, 37, 03143, г. Киев, Украина
тел.: +38044-526-20-51, e-mail: 3604749@gmail.com*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕСТООБИТАНИЙ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАРКОВ «НИВКИ» И «ТЕРЕМКИ» г. КИЕВА

Исследовано ценотическое разнообразие и ведущие экологические факторы дифференциации растительности парков «Нивки» и «Теремки» г. Киева. Показано, что в мегаполисе на месте типичной для Приднепровья свежей грабовой дубравы формируется субассоциация *Galeobdoloni-Carpinetum impatientosum parviflorae*. Для оценки бета-разнообразия предложен модифицированный индекс биотической дисперсии (MIBD). Классификация растительности проведена новым оригинальным методом кластерного анализа DRSA («distance-ranked sorting assembling»). Качество классификации оценено с помощью диаграммы «сериации». Предложено при фитоиндикации учитывать только виды с более 10 % константности, а для характеристики синтаксономической амплитуды – использовать интерквартильный размах. Сравнительный анализ синтаксонов по каждому из экофакторов проведен на скрипичных (репчатых) диаграммах. Рассматривается новый подход к фитоиндикации синтаксонов с учетом ценофлоры и константности видов – R-фитондикация.

Ключевые слова: лесопарковая растительность, Киев, синтаксономия, Fagetalia, кластерный анализ, DRSA, фитоиндикация, скрипичные диаграммы.

УДК 581.9

И. В. Гончаренко канд. биол. наук, доц.
Г. М. Голик

*Институт еволюційної екології НАН України,
вул. Лебедєва, 37, 03143, м. Київ, Україна
тел.: +38044-526-20-51, e-mail: 3604749@gmail.com*

ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ МІСЦЕЗРОСТАНЬ ЛІСОВОЇ РОСЛИННОСТІ ПАРКІВ «НИВКИ» ТА «ТЕРЕМКИ» м. КИЄВА

Досліджено ценотичну різноманітність і провідні екологічні чинники диференціації рослинності парків «Нивки» та «Теремки» м. Києва. Показано, що в мегаполісі на місці типової для Придніпров'я свіжої грабової діброви формується субасоціація *Galeobdoloni-Carpinetum impatientosum parviflorae*. Для оцінки бета-різноманіття запропонований модифікований індекс біотичної дисперсії (MIBD). Класифікація рослинності проведена новим оригінальним методом кластерного аналізу DRSA («distance-ranked sorting assembling»). Якість

класифікації оцінена за допомогою діаграми «серіації». Запропоновано при фітоіндикації враховувати лише види з понад 10 % константності, а для характеристики синтаксономічної амплітуди – використовувати інтерквартильний розмах. Порівняльний аналіз синтаксонів за кожним з екофакторів проведений на скрипкових (ріпчастих) діаграмах. Розглядається новий підхід до фітоіндикації синтаксонів з урахуванням ценофлори і константності видів – R-фітондикація.

Ключові слова: лісопаркова рослинність, Київ, синтаксономія, Fagetalia, кластерний аналіз, DRSA, фітоіндикація, скрипкові діаграми.

ВСТУП

Рослинність міських парків – зручний об’єкт моніторингу біологічного різноманіття в умовах постійного антропогенного пресингу. Рекреаційне навантаження є провідним фактором, що визначає напрямки трансформації рослинності зеленої зони великих міст. Але ступінь цієї трансформації можна оцінити лише ретельно дослідивши склад та структуру найбільш чутливого компоненту біогеоценозу, яким є фітоценоз. Ми розглянемо флористичний склад та фітоценотичну різноманітність лісової рослинності на прикладі двох міських парків м. Києва, проведемо екологічний аналіз її місцезростань та приділимо увагу оцінці ступеня антропогенної трансформації лісопаркової рослинності модельних об’єктів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У липні-серпні 2014 року виконано 78 геоботанічних описів на території парків «Нивки» (50.46 пн.ш., 30.42 сх.д.) та «Теремки» (50.36 пн.ш., 30.45 сх.д.) м. Києва. Описи виконувалися в природних межах фітоценозів за традиційною методикою з фіксацією повного видового складу та рясності за шкалою Б. М. Міркіна. Латинські назви видів подано за чеклістом України (Mosyakin, Fedoronchuk, 1999). Для публікації латинських назв видів використовували програму-фасилітатор для безпомилкового комп’ютерного набору латинських назв таксонів з урахуванням синоніміки, яка використовує згаданий чекліст (Goncharenko, Senchylo, 2013).

Зведений флористичний список нараховує 98 видів, причому 18 видів трапилися менш ніж в 1 % описів, а 25 видів є «наскрізними» та трапляються більш ніж у 30 % описів. Середня кількість видів на опис (альфа-різноманіття) складає 18.6. Основна частина описів (83 %) відповідає формації *Querceta roboris*.

З метою класифікації фітоценозів зазначений масив геоботанічних описів був оброблений з використанням оригінального методу кластерного аналізу DRSA. Даний метод був апробований на фітоценотичних даних (Goncharenko, 2014). Він не потребує зазначення числа кластерів до початку аналізу, визначає перехідні фітоценози («noise detection») в ході класифікації, дає щільні фітоценотичні кластери (фітоценони), не має обмежень щодо широти еколого-фітоценотичного діапазону вибірки, а також перевіряє кластери на «геоботанічну» інтерпретованість підрахунком числа вірних видів. На разі тестування методу продовжується.

Для ординації фітоценозів ми використали метод неметричного багатовимірного шкалювання (пакет Vegan (Oksanen et al., 2010) для середовища R). Схожість між фітоценозами за флористичним складом визначали за коефіцієнтом подібності Охаї (Ochiai). Після ординації було враховано дві перші вісі, які відображають головну частину флористичної диференціації. Для інтерпретації осей ординації екологічними факторами ми паралельно здійснили фітоіндикаційні розрахунки та дослідили кореляцію між навантаженнями на вісі ординації та розрахованими значеннями екофакторів. У розрахунках за методом фітоіндикації ми включили фактори вологості (Hd), кислотності (pH), вмісту азоту у ґрунті (Nt), світлового (Lc) і сольового режиму (Sl) (Didukh, 2011). До фітоіндикації нами додатково додано бали видів за гемеробністю (Hm). При цьому порядкові шкали гемеробності Д. Франка, С. Клотца (Frank, Klotz, 1990), узяті за основу, спочатку

трансформували до числових (агемероби отримали бал 1, метагемероби – 9), а потім включили до розрахунків.

Традиційна оцінка за методом фітоіндикації передбачає розрахунок середнього арифметичного значення для кожного фітоценозу, виходячи з балів видів у екологічних шкалах. Назвемо це Q-фітоіндикацією. Але середнє арифметичне є адекватним лише у разі нормального розподілу. Значно більш робастним показником є перцентиль. Тому для оцінки синтаксономічної амплітуди ми пропонуємо замість середнього та стандартного відхилення подавати 25 % та 75 % перцентилі (інтерквартильний розмах) значень екофакторів, що меншою мірою буде залежати від «викидів». Також ми пропонуємо в розрахунках для кожного синтаксону брати лише види з більш ніж 10 % траплянням. Цим ми зменшимо вплив випадкових видів на екологічну оцінку. Розрахунок буде проведено окремо «за фітоценозами» і «за видами». Якщо Q-фітоіндикація передбачає спочатку розрахунок «за фітоценозами» і лише потім статистичну оцінку синтаксономічної амплітуди з одержаного ряду значень, то у випадку фітоіндикації «за видами», R-фітоіндикації, спочатку формується ценофлора (зведений флористичний список видів одного синтаксону), а потім, знаючи бали видів у шкалах та їх константність у синтаксоні, визначається синтаксономічна амплітуда.

Особливу увагу буде приділено оцінці якості геоботанічної класифікації. До речі, вітчизняні геоботаніки приділяють мало уваги питанням оцінки «достовірності», «якості», «інтерпретованості» своєї класифікації, подаючи дані «as is». Ступінь самостійності синтаксонів буде оцінено паралельно двома підходами. Перший підхід полягає у суперпозиції кластерів та ординаційної діаграми. Якщо кластери виявляються відокремленими в ординаційному просторі, то їх виділення буде проведено коректно, а синтаксони будуть самостійними. За іншим підходом, методом «серіації» (англ. seriation), матриця коефіцієнтів флористичної подібності спочатку впорядковується таким чином, щоб поруч розташовувалися фітоценози одного синтаксону. Фактично це сортування рядків і стовпчиків вихідної матриці відстаней за номінальною ознакою – належністю об'єкту щодо кластеру. Потім абсолютні значення коефіцієнтів відстані (схожості) замінюються градієнтом кольорової (чи монохромної) заливки: що більшим є значення коефіцієнту в даній комірці матриці, тим більш насиченим буде її забарвлення і навпаки. Можна задавати число відтінків (градацій) кольору та «порог знебарвлення»: якщо відстань між об'єктами більша порогу, комірка матриці лишається білою. Таким чином, метод серіації «експлуатує» ідею блочно-діагональних (впорядкованих) діаграм Чекановського, оприлюднену на початку минулого століття (1909): про щільність кластерів буде свідчити зосередженість «темних» комірок поблизу діагоналі, а про відмежованість кластерів – «світлі» комірки пар описів з різних кластерів. Візуалізацію матриці флористичної подібності методом серіації здійснено за допомогою функції `dissplot` пакету `seriation` (Hahsler et al., 2008) для середовища R.

ФІТОЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИНТАКСОНІВ

Основний негативний вплив на лісову рослинність парків м. Києва чинить рекреаційне навантаження. Деякі ділянки зазнають ще додаткового антропогенного пресингу через сусідство будмайданчиків чи адміністративних споруд, тому страждають від додаткового засмічення. Значний антропогенний фактор відбивається на флористичному складі. Він налічує чимало культиварів (*Acer pseudoplatanus* L., *Quercus rubra* L., *Juglans regia* L.), неофітів (*Xanthoxalis dillenii* (Jacq.) Holub, *Bidens frondosa* L., *Impatiens parviflora* DC., *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort., *Solidago canadensis* L.), а також облігатних апофітів (*Geum urbanum* L., *Fallopia dumetorum* (L.) Holub, *Sambucus nigra* L., *Lamium purpureum* L., *Chelidonium majus* L., *Ballota nigra* L.).

Спостерігаються наступні закономірності у процесах трансформації видового складу лісової рослинності парків. Першою стадією є збільшення рясності експлерентів. Такими видами у лісовій рослинності парків є: *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Geranium robertianum* L., *Impatiens parviflora*, *Alliaria petiolata* (M. Bieb.) Cavara & Grande, *Chaerophyllum temulum* L., *Torilis japonica* (Houtt.) DC. тощо. Зростає також рясність зоохорів (*Torilis japonica*, *Geum urbanum*, *Chaerophyllum temulum*, *Galium aparine* L.), які добре пристосовані до розповсюдження на одязі відвідувачів. 100% трапляння має *Impatiens parviflora*, який повністю натуралізувався в парках та штучних деревних насадженнях. На другій стадії трансформації зростає чисельність видів-анемохорів. Зазвичай у лісі вони туляться поблизу просік, стежок і т.п., адже вітру під наметом щільного лісу майже нема. Поява їх буде свідчити про значну фрагментацію рослинного покриву, коли анемохори (*Phalacrologium annuum*, *Lapsana communis*, *Mycelis muralis* (L.) Dumort.) заносяться з окрайків вглиб. Майже одночасно з'являються і неофіти. Поява останніх – третя стадія дигресії лісопаркових угруповань. Природні ліси – це щільні, зімкнуті ценози, що істотно «опираються» адвентам. Але у міру руйнування лісового ценозу на місце корінних видів швидко приходять «агресивні» прибульці. Тому кількість неофітів у видовому складі угруповань парків – надійний індикатор тривалості та потужності рекреаційного пресу.

Що стосується синтаксономічної інтерпретації дослідженої рослинності, то тут очевидний зв'язок з лісами фагетального порядку.

Синтаксономічна схема лісової рослинності парків «Нивки» та «Теремки»

Quercus-Fagetum Br.-Bl. et Vlieger 1937

Fagetalia sylvaticae Pawl. 1928

Carpinion betuli Issler 1931

Galeobdolon lutei-Carpinetum Shevchyk et al. 1996

Subass. *Impatiens parviflorae* Goncharenko et al. 2013

1. Var. *Galeobdolon luteum*

2. Var. *Rubus caesius*

3. Var. *Paris quadrifolia*

На місці типової для Придніпров'я грабової діброви і було закладено згадані парки. Отже стосовно порядку немає сумнівів: види *Fagetalia* рясні та чисельні. А от афінність щодо союзу *Carpinion*, навпаки, виключно номінальна. Загалом *Carpinion* – це центральноєвропейський союз, і присутність *Carpinus betulus* без «свити» інших західних видів робить підпорядкування дуже умовним. На рівні асоціацій найбільша схожість з описаною з Канівського заповідника *Galeobdolon lutei-Carpinetum*, особливо субасоціацією *G.-C. sambucetosum nigrae*. Якщо звернутися до першоджерела, автор так дає характеристику її приуроченості: «до розширень тальвегів, підніж та пологих схилів із збагаченими зсувовим матеріалом потужними сирими лісовими ґрунтами» (Shevchyk et al., 1996).

Якщо порівняти ядра ценофлор (види III-V класу константності) субасоціації з Канівських лісів та описаної нами, то помітно їх значну подібність. В обох випадках постійними є 7 видів: *Sambucus nigra*, *Impatiens parviflora*, *Carpinus betulus* L., *Asarum europaeum* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., *Galium odoratum* (L.) Scop., *Acer platanoides* L. Ядра ценофлор канівських ценозів відрізняють: *Mycelis muralis*, *Aegopodium podagraria*, *Carex pilosa* Scop., *Dryopteris filix-mas*, *Geranium robertianum*, *Acer campestre*, *Moehringia trinervia*, *Viola reichenbachiana* Jord. Ex Boreau, *Populus tremula* L., *Stellaria holostea*, *Viola odorata*, *Lamium galeobdolon*. Ядра ценофлор описаних нами ценозів відрізняють 8 видів: *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Swida sanguinea* (L.) Opiz, *Geum urbanum*, *Tilia cordata* Mill., *Euonymus europaea* L.,

Crataegus monogyna Jacq., *Corylus avellana* L., *Cerasus avium* (L.) Moench, *Urtica dioica* L. Але ці відмінності несуттєві, адже практично усі види, за якими вони відрізняються, присутні у видовому складі хоча і з меншим ступенем константності.

Нижче подано результат класифікації 78 фітоценозів методом DRSA (табл. 1). При цьому щільність фітоценозів підвищується за рахунок визначення перехідних фітоценозів («noise detection») та їх бракування у ході роботи алгоритму (DRSA). «Природність» одержаної класифікації додатково підтверджується тим, що описи, виконані у парках «Нивки» та «Теремки», «розійшлися» по різних кластерам.

У парку «Нивки» трапляється лише *G.-C. impatientosum* var. *Galeobdolon luteum*. Рельєф тут яружно-балковий. Угрупування зустрічаються на схилах різноманітної експозиції (пн.-сх., пн.-зах., пд.), крутизна схилів 5–15°. Слід відзначити відносну близькість до парку забудови та більші площі під «окультуреною» територією. Як наслідок, тут більша «засміченість» ценофлори видами *Robinietea* та *Galio-Urticetea*, неофітами та культиварами. У парку «Теремки» трапляється і *G.-C. impatientosum* var. *Rubus caesius*, і *G.-C. impatientosum* var. *Paris quadrifolia*. Слід відзначити, що чітких відмінностей у місцезростаннях цих синтаксонів немає. Грунтовий покрив у парку – це переважно сірі лісові ґрунти на лесовидних суглинках. Але рельєф, на відміну від парку «Нивки», вирівняний або слабкохвилястий. Обидва синтаксони чітко відрізняються від var. *Galeobdolon luteum* з парку «Нивки» блоком «*Galium odoratum*» (табл. 1).

Кількісний аналіз синтаксонів

Еколого-фітоценотичний діапазон (ЕФД) дослідженої вибірки не значний. ЕФД, або бета-різноманіття, можна оцінити середнім значенням коефіцієнтів флористичної подібності між усіма описами. Нами застосовано коефіцієнт Охаї. Отже, середнє значення подібності між описами дослідженої вибірки становило 0.44, а 25 % та 75 % персентилі – 0.35 та 0.53 відповідно. Таким чином, у описах від 1/3 до 1/2 спільних видів. Це дає підстави вважати усі три фітоценози частинами однієї асоціації та присвоїти їм ранги варіантів.

Інший спосіб оцінити ЕФД вибірки – це скористатися індексом біотичної дисперсії, запропонованим Л. Кохом у 1957 році. Цей коефіцієнт дозволяє оцінити схожість серії описів. Ми пропонуємо його модифікований варіант, який враховує показники альфа-різноманіття.

$MIBD = (S-R)/((N-1)*R)$, де MIBD – модифікований індекс біотичної дисперсії, S – кількість видів об'єднаного флористичного списку, R – середня кількість видів на фітоценоз (альфа-різноманіття), N – кількість описів.

Простіше пояснити його ґрунтовність на конкретному прикладі. Нехай, маємо два фітоценози по 20 видів кожен, причому у них немає жодного спільного виду. Тоді R = 20, S = 40, N = 2, а MIBD = 1. Видозмінімо умову: нехай усі види спільні. Тоді, R = 20, S = 20, N = 2, а MIBD = 0. Таким чином, MIBD змінюється від 0 до 1 і досягає максимального значення при відсутності спільних видів у будь-якої пари з серії фітоценозів. Якщо узяти відому криву кількість видів/описів, то MIBD відображає «швидкість» приросту кількості видів об'єднаного списку, фактично кут, що утворює дотична кривої кількість видів/описів проведена від початку координат з віссю абсцис (кількість описів). У нашому випадку, N = 78, S = 98, R = 18,6, отже MIBD = 0.06, що свідчить про вузький ЕФД і значну подібність між описами: один новий опис приносить лише близько 6 % нових видів.

На рис. 1 представлено результати ординації фітоценозів. «Карта» взаємного розташування фітоценозів відображає ступінь подібності їх флористичного складу: чим ближче розташовані два фітоценози (точки), тим більш подібними вони є за видовим складом. З використанням кластерного аналізу алгоритмом DRSA, було виділено 3 фітоценотичні кластери (фітоценози). Їх межі на рис. 1 позначені за «крайніми» об'єктами. Однією з особливостей методу DRSA є те, що він визначає

D.s. class Robinietea												
Chelidonium majus	1	+	1	1	1	+	+	+	1	1	+	+
Robinia pseudoacacia	2	2		1	2				+			
Xanthoxalis dillenii			+	+		1						
Geranium robertianum				1	2		1	+	1	1	1	+
Acer negundo	1						1	1	2	+	1	+
Інші види:												
Rudus avium									+			
Sorbus aucuparia	2	+	1	1	1	+	1	2				1

Види, що трапляються зрідка: Betula pendula 2, 21, 27, 29, 31; Ballota nigra 59, 72; Carex pilosa 43, 60; Vinca minor 70, 72; Juglans regia 59, 68, 24; Mercurialis perennis 60; Stellaria holostea 68; Glechoma hederacea 59; Mycelis muralis 43, 59; Plantago major 59, 75, 8; Aesculus hippocastanum 43; Arctium lappa 59; Bidens frondosa 59; Dactylis glomerata 74; Lamium purpureum 41; Polygonatum odoratum 72; Solanum nigrum 59; Stachys sylvatica 59; Phalaroloma annuum 72; Torilis japonica 40, 6, 8; Chaerophyllum temulum 5, 7; Geum rivale 7; Populus alba 2; Salix alba 2; Sanicula europaea 24, 27; Athyrium filix-femina 19; Betula pubescens 19; Duchesnea indica 11; Lilium martagon 27; Stachys palustris 18; Viola odorata 68, 2; Moehringia trinervia 7; Polygonum dumetorum 59, 21; Scrophularia nodosa 72.

перехідні ценози відразу в процесі класифікації. Це дозволяє DRSA об'єктивізувати процес «бракування» перехідних об'єктів (шуму). Після кластеризації з 78 фітоценозів 44 увійшли до складу кластерів (позначені точками), а 38 визнані перехідними (позначені +). Як бачимо з рис. 1, кластери практично не перетинаються і є самостійними. Розмежування кластерів у площині ординації доводить їх «якість» і самостійність.

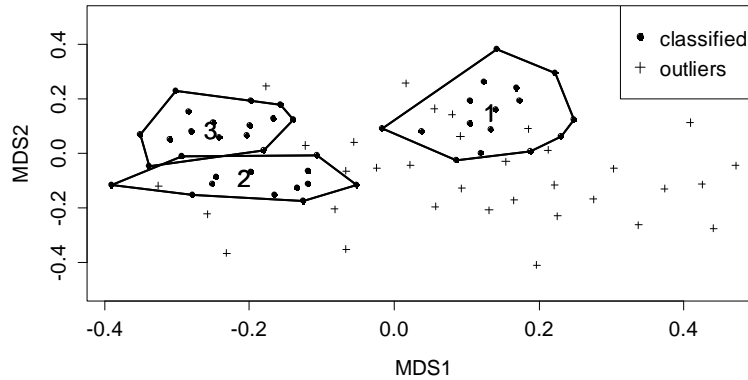


Рис. 1. Розташування кластерів у площині NMDS ординації

Результат градієнтної заливки матриці відстаней між фітоценозами, впорядкованої щодо кластерів (метод серіації), показаний на рис. 2.

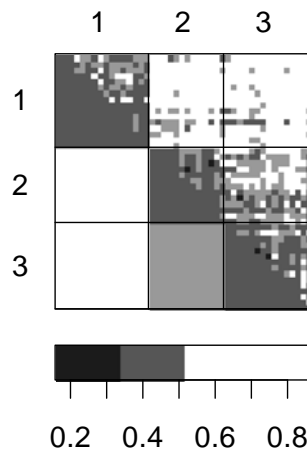


Рис. 2. Блочно-діагональний вид впорядкованої матриці відстаней між фітоценозами з градієнтною заливкою

Відстані між фітоценозами обраховано як $D = 1 - K$, де K – коефіцієнт подібності Охаї між фітоценозами. На перший погляд «читати» таку діаграму доволі складно. Але це не так. Достатньо її лише уявити як сильно зменшений варіант звичайної квадратної матриці відстаней між описами, з якого прибрали перший рядок та стовпчик (з номерами описів), а значення матриці зафарбували відповідно до значень. При цьому, відповідно до легенди що подана нижче, значення відстаней матриці > 0.5 узяті як поріг та позначені білим.

Лінії, які сегментують діаграму на 3 частини, позначають межі 3-х кластерів, що були виділені після DRSA. Отже, в межах кожного з 3-х стовпчиків (або рядків) розташовуються фітоценози, віднесені до одного кластера. Номери кластерів вказано над діаграмою. На діагоналі більші квадрати «передають» середнє значення

відстаней між описами одного кластера (intracluster distances), а великі піддіагональні квадрати – між описами різних кластерів (intercluster distances). Натомість, над діагоналлю, в менших комірках, інтенсивність заливки відповідає значенню відстані між окремими фітоценозами.

По-перше, ми бачимо, що три більші квадрати вздовж діагоналі інтенсивніше зафарбовані, ніж 3 піддіагональні. Це означає, що внутрішньокластерні дистанції менші, ніж міжкластерні, як і мало б бути. По-друге, інтенсивність зафарбування трьох більших діагональних квадратів приблизно однакова, отже щільність виділених фітоценозів теж приблизно однакова і складає, як свідчить легенда діаграми, $-0.15-0.35 D$. Такою є середня відстань між описами одного кластера. Додатково переконалися у сказаному можна розглянувши «дзеркальну» наддіагональну частину: зафарбовані менші комірочки туляться поблизу діагоналі і «вкладаються» у більші квадрати, що відповідають одному кластеру, а поза діагоналлю – комірочки переважно не зафарбовані, інакше кажучи $D > 0.5$.

Кластери 2 і 3 доволі схожі між собою: відповідний їм піддіагональний квадрат зафарбований, і середня відстань $-0.35-0.5 D$. Теж помітно і в наддіагональній «дзеркальній» частині: чимало комірок зафарбовані, причому кількість зафарбованих комірок більша за кількість незафарбованих саме в межах блоку [2;3]. Остаточню пересвідчитися у флористичній подібності синтаксонів 2 і 3 можна поглянувши в табл. 1 на блок порядку *Fagetalia*. Чітко видно види, які їх «об'єднують»: *Galium odoratum*, *Corylus avellana*, *Cerasus avium* та інші. Інша ситуація з кластером 1: піддіагональні блоки [1;2] та [1;3] незафарбовані, тобто середні міжкластерні відстані перевищують поріг 0.5, описи є доволі «несхожими» за видовим складом. Аналогічно у «дзеркальній» наддіагональній частині [2;1] та [3;1] виразно переважають незафарбовані комірочки.

Екологічний аналіз місцезростань

Інтерпретацію осей непрямої ординації зазвичай проводять, досліджуючи їх кореляцію із значеннями екофакторів, розрахованими методом фітоіндикації. З одного боку, для кожного з фітоценозів ми маємо значення координат (навантажень) в ординаційному просторі, з іншого – значення екофакторів після фітоіндикації. Вісі непрямої ординації, зокрема, багатовимірною шкалювання, відображають головні напрямки флористичної диференціації. Якщо між значеннями навантажень на вісі та значеннями екофакторів виявиться суттєва кореляція, можна говорити: даний напрямок (вісь) флористичного градієнту пов'язана з градієнтом певного екологічного фактору, з яким виявлена кореляція.

Результати обчислень коефіцієнтів кореляції Пірсона між навантаженнями на вісі (MDS1, MDS2 – першу та другу вісь відповідно) та шістьма екофакторами (Hd, pH, SI, Nt, Lc, Nm) показано в табл. 2.

Як бачимо, з першою віссю не пов'язаний жоден з екофакторів, оскільки значення кореляції за Пірсоном r не перевищили 0.6. Причин тому може бути дві. Або фактор, який би мав кореляцію з першою (головною) віссю, не був врахований (адже екологічних факторів існує значно більша кількість, ніж включено до методики фітоіндикації), або, більш імовірно, це є наслідком вузького екологічного діапазону вибірки. Тоді чітких екологічних відмінностей між синтаксонами, у нашому випадку – варіантами однієї субасоціації, може і не спостерігатися.

Друга вісь корелює з факторами освітлення та гемеробності ($|r| > 0.6$). Ця кореляція є достовірною, оскільки значення p -value щодо перевірки гіпотези про відсутність кореляції менше за 0.05: для LC p -value = $1.894e-15$, для Nm p -value = $1.493e-09$. Знак r у обох факторів однаковий (від'ємний), тому ці фактори ще й корелюють між собою. Кореляція між LC та Nm дійсно складає $r = 0.52$, а p -value = $8.299e-07$. Вочевидь, вона пов'язана з прихованим третім «спільним» фактором – антропогенним пресингом, який виміряти безпосередньо неможливо. Так, пресинг призводить, з одного боку, до

проникнення метагемеробних синантропних видів (тоді збільшуються значення Hm), з іншого – до руйнування вертикальної структури лісового ценозу, внаслідок чого зростає освітленість під наметом дерев (тоді зростають значення Lc). Цікаво, що фактор вологості (Hd), який в багатьох випадках є провідним, не позначається на флористичній диференціації лісових угруповань, оскільки кореляція Hd з кожною з вісей не виявлена (вісь MDS1 $r = -0.03$, вісь MDS2 $r = -0.25$).

Таблиця 2

Екологічна оцінка синтаксонів (1–3) за методом фітоіндикації та кореляція екофакторів з ординаційними навантаженнями (MDS1, MDS2)

Фактор	MDS1	MDS2	синтаксони		
			1	2	3
Hd	-0.03	-0.25	11.5–12.37	11.5–12.25	11.5–12.7
			11.98–12.09	11.99–12.20	12.02–12.18
pH	-0.09	-0.38	7.12–8.87	7.75–8.75	7–9
			7.81–8.05	8.05–8.15	8.03–8.13
Sl	0.2	-0.59	6.12–7.37	6.25–7	6–7
			6.61–6.74	6.74–6.88	6.59–6.72
Nt	0.43	-0.44	6.5–7.5	6.25–7.75	5.75–7.5
			7.00–7.15	7.01–7.29	6.79–7.05
Lc	0.26	-0.78	4–6.37	4.5–6.5	3.5–4.5
			4.70–4.97	4.83–5.07	4.42–4.66
Hm	0.09	-0.62	2.9–4.4	3.1–3.8	3–3.2
			3.32–3.53	3.55–3.72	3.43–3.59

В табл. 2 наведені значення діапазону кожного з 6 екофакторів, який відповідає значенням 25 % та 75 % перцентилей в межах кожного з 3-х синтаксонів. Існують три принципи відмінності у фітоіндикації за нашою модифікованою методикою:

- 1) враховуються лише види з константністю понад 10 % (цим зменшується вплив «випадкових» видів);
- 2) замість середнього та стандартного відхилення для характеристики амплітуди синтаксону використовуємо нижній та верхній квартилі;
- 3) проводимо розмежування між Q- та R-фітоіндикацією.

Діапазон значень між 25 % та 75 % перцентиліями – це фактично амплітуда синтаксону (за певним екофактором). В комірках табл. 2 в верхній половині знаходяться квартилі, розраховані за балами видів (R-фітоіндикація), а у нижній половині – квартилі, розраховані за описами (Q-фітоіндикація). Для порівняльного аналізу синтаксонів ми використали т.з. «скрипкові діаграми» (violin plots), що поєднують коробчатую діаграму «ящик з вусами» з графіком ядерної оцінки щільності ймовірності (kernel density plot). Назву ця діаграма (ще її називають «ріпчастою») отримала через свою форму, що нагадує скрипку або ріпак, завдяки графікам ядерної щільності дзеркально з кожного боку, окреслюючи контур «ріпака». Що «товщим» є графік на певному горизонтальному «зрізі», то більше видів із відповідними екологічними балами щодо певного фактору (вісь ординат) у даному синтаксоні. Центральна точка – це медіана (оптимум синтаксономічної амплітуди), чорний прямокутник – інтерквартильний розмах (достовірні межі синтаксономічної амплітуди), «вуса» - мінімальне та максимальне значення.

На рис. 3 показано «скрипкові» діаграми за зволоженням.

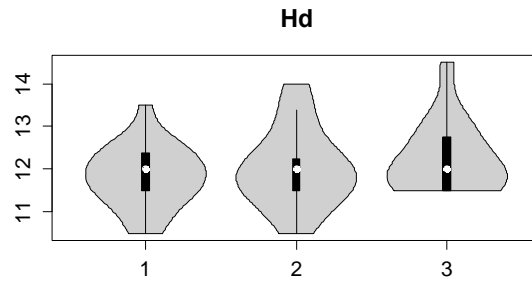


Рис. 3. Синтаксономічні амплітуди 3-х синтаксонів за вологістю (Hd)

Ми бачимо, що синтаксономічні амплітуди 3-х синтаксонів щодо зволоження близькі: медіани і розширені частини ріпчастих діаграм розташовуються майже на одному рівні. При цьому виразно переважають види-мезофіти (з балом 12, загалом 23 градації в екологічній шкалі Hd за Я. П. Дідухом). Нижні кватилі (мінімуми синтаксономічних амплітуд) теж однакові – 11.5 (табл. 2), верхні незначно відрізняються (рис. 1). Скрипкова діаграма кластера 3 виразно асиметрична: витягнута в бік більших значень вологості (13.5–14.5 Hd) та чітко «зрізана» знизу. Це свідчить про те, що у ценофлорі цього синтаксону присутні (хоча їх і менше) більш вологолюбні види. До речі, побачити на традиційних діаграмах «ящик з вусами» було б неможливо. На відміну від кластера 3, найбільш «симетричною» є синтаксономічна амплітуда кластера 1, тобто розподіл кількості видів з різними балами за зволоженням близький до нормального.

На рис. 4 показано скрипкові діаграми щодо фактору кислотності ґрунту.

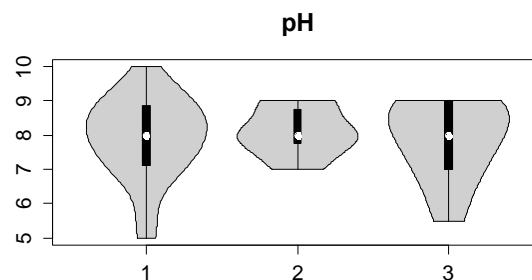


Рис. 4. Синтаксономічні амплітуди по відношенню до кислотності ґрунту (pH)

По-перше, чітко видно, що найвужчою за pH є синтаксономічна амплітуда кластера 2, проте центри амплітуд (медіани) розташовуються приблизно на одному рівні, що відповідає балу 8 (значення 7 – субацидофіти, 9 – нейтрофіти, усього 15 градацій pH). Це узгоджується із звичайними значеннями pH (6.1–6.5) для сірих лісових слабоопідзолених ґрунтів, на яких і сформувалися ці угруповання. Те, що кислотність ґрунту не спричиняє значних флористичних відмінностей між синтаксонами, також підтверджує відсутність кореляції pH з осями ординації ($r(\text{MDS1}) = -0.09$, $r(\text{MDS2}) = -0.38$).

На рис. 5 показано скрипкові діаграми щодо фактору сольового режиму.

Помітно, що синтаксономічні амплітуди кластерів 2 і 3 щодо фактору S1 вузькі. Більшість неморальних видів чутливі до цього фактору, тому їх амплітуди мало відрізняються положенням оптимуму. Як бачимо, найширша частина діаграм відповідає геміевтрофам (бал 5 – мезотрофи, бал 7 – геміевтрофи, усього 19 градацій S1). Широколистяні ліси здебільшого займають підвищені елементи рельєфу, вкривають крутосхили долин річок та балок. Тому ґрунти промивного режиму, а це пояснює їх відносну збідненість під широколистяними лісами (у порівнянні, наприклад, з лучними ґрунтами) на мінеральні елементи. У той же час «хвіст» скрипкової

діаграми синтаксона 1 (рис. 5) чітко вказує на те, що види, які і зумовлюють цей «хвіст» (*Glechoma hederacea* L., *Plantago major* L., *Lysimachia nummularia* L.), є «чужорідним» елементом і мають іншу екологічну приуроченість.

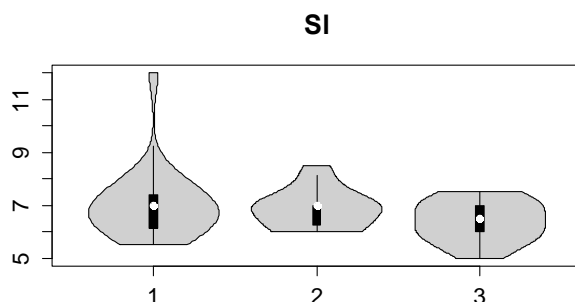


Рис. 5. Синтаксономічні амплітуди по відношенню до сольового режиму (SI)

На рис. 6 показано скрипкові діаграми за результатами фітоіндикації щодо фактору багатства ґрунтів на засвоювані рослинами форми нітрогену.

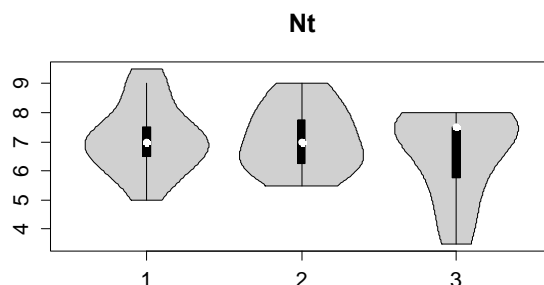


Рис. 6. Синтаксономічні амплітуди за фактором багатства ґрунтів на азот (Nt)

По-перше, чітко видно асиметричність діаграми для синтаксону 3. Більшість його видів є нітрофілами (бал 7 – нітрофіти, бал 9 – еунітрофіти, усього 11 градацій). До речі, види класу *Galio-Urticetea* (*Urtica dioica*, *Geum urbanum*, *Geranium robertianum*) дійсно є вираженими нітрофітами, а саме вони «наскрізні» в угрупованнях міських парків. Розмір цієї «домішки» може слугувати мірою «засміченості» лісопаркової рослинності, і, як бачимо по положенню найбільш розширеної частини діаграм, вона не значно «плаває» і знаходиться в інтервалі 6.5–7.5 Nt. З іншого боку, витягнута у бік значень 4-5 Nt частина діаграми синтаксону 3 зумовлена постійністю (див. табл. 1) суборових *Betula pendula*, *Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schmidt, *Convallaria majalis*, котрі є субанітрофітами.

На рис. 7 показано скрипкові діаграми щодо фактору освітлення.

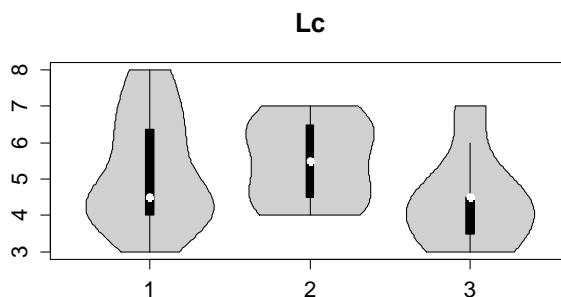


Рис. 7. Синтаксономічні амплітуди по відношенню до фактору освітлення (Lc)

Освітлення – лімітуючий фактор під наметом лісу. Недарма більшість неморальних видів (*Dryopteris filix-mas*, *Lamium galeobdolon*, *Polygonatum multiflorum*) є гемісциофітами. Тому стає зрозумілим, чому, по-перше, фактор Lc виявив кореляцію з віссю непрямой ординації MDS2, по-друге, синтаксономічні амплітуди 2 і 3 чітко розділені (перший синтаксон гемісциофітний (4.5–6.5 Lc у табл. 2), другий – з більшим вмістом сциофітів (3.5–4.5 Lc у табл. 2). Скрипкова діаграма кластеру 1 виразно «втягнута» за рахунок «домішки» субгеліофітів, хоча асиметричність діаграми свідчить про їх «чужинність». Впровадження субгеліофітів, здебільшого лучних та бур'янових – наслідок руйнації вертикальної структури лісопаркових угруповань під антропогенним пресингом, що доводить встановлена кореляція Lc та Hm (див. раніше).

На рис. 8 показано скрипкові діаграми щодо фактору гемеробності.

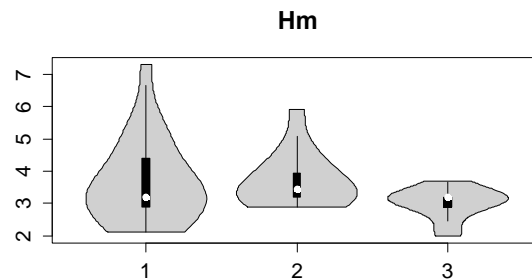


Рис. 8. Синтаксономічні амплітуди по відношенню до фактору гемеробності (Hm)

Ми бачимо, що найменшій трансформації під впливом антропогенного чинника зазнала ценофлора синтаксону 3. Це також повністю підтверджується даними табл. 1: блок видів класу *Robinietaea* (індикатор антропогенного пресингу) у синтаксоні 3 не представлений. Крім того, діагностичні види *var. Paris quadrifolia* (*Actaea spicata* L., *Paris quadrifolia*, *Dryopteris filix-mas*, *Maianthemum bifolium*, *Viola mirabilis*) – це оліго- або агемероби. Саме тому у синтаксоні 3 найвужча амплітуда, найнижче (на вісі ординат значення 3) розташування найширшої частини діаграми та положення медіани (оптимуму). Набагато більш антропогенно трансформованою виглядає ценофлора синтаксону 1, хоча найширша частина його діаграми також відповідає балу 3, але асиметрія в бік еугемеробних видів (6–7 Hm) чітко помітна.

ВИСНОВКИ

Лісова рослинність парків «Нивки» та «Теремки» формувалася на базі лісів порядку *Fagetalia*. Більшість досліджених угруповань зберегли основне ядро неморальних видів, що дозволяє їх ідентифікувати щодо типової асоціації придніпровських лісів *Galeobdolon luteum-Carpinetum betuli*. Диференціація спостерігається лише на рівні варіантів однієї субасоціації *G.-C. impatientosum parviflorae*. Вона відбувається, головним чином, під дією фактора антропогенного пресингу, з яким корелюють фактори гемеробності і освітлення. Найменш порушені ліси відповідають варіанту *var. Paris quadrifolia*, найбільш трансформовані – *var. Galeobdolon luteum*. Антропогенний пресинг, головним чином рекреаційне навантаження, проявляється впровадженням видів класу штучних деревних насаджень – *Robinietaea*. Крім того, у всіх досліджених синтаксонів постійні та рясні види іншого антропогенно обумовленого класу *Galio-Urticetea*. Його види на разі об'єднують три варіанти «під» субасоціацією *G.-C. impatientosum parviflorae*. Фітоіндикаційні розрахунки не виявили достовірних відмінностей між синтаксонами за едафічними факторами, тобто принципових відмінностей едафотопи описаних синтаксонів не мають. Аналіз ценофлор методом R-фітоіндикації показав переважання мезофітів, гемісциофітів, геміевтрофів та нітрофітів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Didukh, Ya. P., 2011.** The ecological scales of the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Phytosociocenter, Kyiv.
- Frank, D., Klotz, S., 1990.** "Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR", Wiss. Beitr. M.-Luther-Universität, Halle-Wittenberg P., 41, 1–167.
- Goncharenko, I. V., 2014.** DRSA – novyj metod «sortirujshhej» klasterizacii (na primere fitocenoticheskikh dannyh) [DRSA – a new method of «sorting» clustering (for example phytocenotic data)] // Zhurnal Obshchei Biologii [Journal of General Biology] (in press).
- Goncharenko, I. V., Senchylo, O. O., 2013.** AUTOSPECIES – programa dlja komp'juternogo naboru latyns'kyh nazv vydiv roslyn [Autospecies is a software for computer typing of the latin names of biological species]. Ukrai'ns'kyj botanichnyj zhurnal [Ukr. Botanical Zh.], 70, 6, 837–839 (in Ukrainian).
- Hahsler, M., Hornik K., Buchta Ch., 2008.** Getting things in order: An introduction to the R package seriation. Journal of Statistical Software, 25/3. URL: <http://www.jstatsoft.org/v25/i03/>.
- Mosyakin, S. L., Fedoronchuk, M. M., 1999.** Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. Kiev.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R. et al., 2010.** Vegan: Community Ecology Package. URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/vegan/>
- Shevchyk, V. L., Solomakha, V. A., Voytuk, Yu. O., 1996.** Syntaksonomija roslynosti ta spysok flory Kanivs'kogo pryrodnogo zapovidnyka [The syntaxonomy of vegetation and checklist of the flora of Kaniv Natural Reserve]. Ukr. fitotsen. Col., Ser. B, 1 (4), 5–119 (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 15.09.2014

Рекомендує до друку: чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук, проф. О. З. Глухов